

УДК 552.321.5,6

ПЕТРОЛОГИЯ КЫЗЫР-БУРЛЮКСКОГО МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА (СЕВЕРО-ВОСТОК ЗАПАДНОГО САЯНА)

Чернышов Алексей Иванович¹,
aich@ggf.tsu.ru

Воробьева Анастасия Владимировна¹,
vorobyevaanastasia@gmail.com

Юричев Алексей Николаевич¹,
juratur@sibmail.com

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Актуальность исследования. В Западном Саяне установлены многочисленные интрузивные мафит-ультрамафитовые тела. Их формационная принадлежность и металлогеническая специализация до настоящего времени остаются до конца не выясненными и постоянно привлекают внимание как производственных, так и научных организаций, в связи с их металлогенической специализацией на хром, никель, медь, благородные металлы. Для выяснения их формационной принадлежности нами получены оригинальные результаты петрологического исследования мафит-ультрамафитового Кызыр-Бурлюкского массива, которые позволяют выявить условия его формирования, последующего преобразования в процессе длительной эволюции на уровнях верхней мантии–земная кора.

Объекты: мафит-ультрамафитовый Кызыр-Бурлюкский массив. Он расположен в северо-восточной части Западного Саяна и, совместно с Калнинским и Эргакским массивами, является составной частью потенциально хромитоносных массивов Амыльского рудного района.

Методы. Петрографическое изучение ультрамафитов проводилось на поляризационном микроскопе AxioScope-40 Carl Zeiss. Диагностика химического состава силикатных и рудных минералов выполнена методом рентгеноспектрального микроанализа с применением электронного сканирующего микроскопа Tescan Vega II LMU, оборудованного энергодисперсионным Oxford INCA Energy 350 и волнодисперсионным Oxford INCA Wave 700 спектрометрами.

Результаты. Согласно проведенному петрологическому исследованию Кызыр-Бурлюкский массив представлен главным образом предельно деплетированными дунитами, сформировавшимися в верхней мантии, на уровнях которой они претерпели интенсивные высокотемпературные пластические деформации внутрикристаллическим трансляционным скольжением при подчиненной роли синтетектонической рекристаллизации. В коровых условиях, под воздействием более поздних габброидных интрузивов, дуниты подвергались высокотемпературному метасоматозу с образованием пород верлит-клинопироксенитовой ассоциации.

Ключевые слова:

Западный Саян, офиолиты, ультрамафиты, дуниты, габброиды, петрография, минералогия.

Введение

Объектом изучения являются породы Кызыр-Бурлюкского мафит-ультрамафитового массива, который совместно с Калнинским и Эргакским хромитоносными массивами [1] входят в структуру Куртушибинского офиолитового пояса, расположенного в северо-восточной части Западного Саяна [2]. Массивы Эргакский, Калнинский, Кызыр-Бурлюкский располагаются последовательно в направлении с северо-востока на юго-запад и представлены в различной степени деплетированными ультрамафитами [3]. Первый массив является наименее деплетированным и сложен преимущественно гарцбургитами, дунитами и частично лееролитами. Во втором степень деплетирования возрастает, в его строении принимают участие гарцбургиты и дуниты. Третий исследуемый массив, по нашему мнению, является наиболее деплетированным, так как сложен только дунитами.

Дуниты Кызыр-Бурлюкского массива, в отличие от двух других, прорываются многочисленными интрузивными телами габброидов, под влиянием которых в результате высокотемпературных метасомати-

ческих процессов дуниты в их экзоконтактных зонах подвергались неравномерной клинопироксенитизации с образованием пироксеновых дунитов и верлитов. Подобные процессы клинопироксенитизации ультрамафитов являются довольно распространенным явлением среди метаморфических перидотитов офиолитовых комплексов [1, 4–6].

Методы исследования

При проведении работы использовались оригинальные образцы пород, которые были отобраны на Кызыр-Бурлюкском массиве при выполнении хозяйственных исследований по заказу Красноярского научно-исследовательского института геологии и минерального сырья (КНИИГиМС). Детальное петрографическое изучение ультрамафитов проводилось на поляризационном микроскопе AxioScope-40 фирмы Carl Zeiss на кафедре петрографии ТГУ, что позволило детально изучить состав пород и провести их типизацию. Вещественный состав породообразующих минералов определялся методом рентгеноспектрального микроанализа с применением электронного сканирующего микроскопа Tescan Vega II LMU, совме-

щенного со спектрометрами энергетической (Oxford INCA Energy350) и волновой (Oxford INCA Wave) дисперсии в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» при ТГУ (г. Томск).

Геологическое строение Кызыр-Бурлюкского массива

Кызыр-Бурлюкский массив расположен на западном склоне хребта Эргак-Таргак-Тайга, слагаемая водо-раздел рр. Пряха–Кызыр–Бурлюк, правых притоков р. Амыл (рис. 1). Массив имеет удлиненную форму, ориентирован в северо-западном направлении с крутым погружением в северо-восточном направлении. Мощность массива составляет от 1 до 2,5 км. Вдоль юго-западного контакта массива картируется зона серпентинового меланжа на контакте с вмещающими зелеными сланцами амьельской свиты (V-С₁). С северо-востока массив перекрывается более молодыми осадочными отложениями федоровской свиты (S₂).

Массив сложен преимущественно дунитами довольно свежего облика и редкими жильными телами ортопироксенитов [7]. Дуниты прорываются многочисленными мелкими субизометричными интрузивными телами и дайками габброидов. Дайки имеют субнормальную ориентировку по отношению к простираанию массива и, очевидно, образовались при внедрении расплава вдоль трещин отрыва, возникших при поперечном сдавливании массива [8]. В экзоконтактовых зонах габброидов постоянно обнаруживаются породы верлит-клинопироксеновой ассоциации, с неравномерным распределением клинопироксена. Они представлены клинопироксенизированными дунитами и верлитами, которые являются реакционно-метасоматическими образованиями, и возникли в результате воздействия высокотемпературных основных расплавов на консолидированные дуниты. Массив и вмещающие его породы федоровской свиты интродуцируются мелким штоком гранодиоритов более молодого возраста (D₁). В эндоконтактовых частях массива и вдоль разломов отмечается интенсивная серпентинизация (антигоритизация).

Петрографическая характеристика

Дуниты представлены преимущественно крупнозернистыми породами, которые обычно пластически деформированные. Для слагающих их зерен оливина отмечается субблоковое и мозаичное погасание, характерны полосы сброса, а по краям зерен проявляется синектоническая рекристаллизация. Проявление этих признаков является непрямым атрибутом метаморфических ультрамафитов в офиолитовых комплексах и указывает на процессы пластического течения исходного мантийного вещества [10–16]. Совокупность этих признаков отражается в разнообразных микроструктурных типах дунитов, описанных в многочисленных российских и зарубежных источниках [1, 10, 17–20]. Типизация дунитов Кызыр-Бурлюкского массива проведена нами по классификации французских петрологов [17, 21].

Среди дунитов массива нами выделены два микроструктурных типа: протогранулярный (рис. 2, а) и порфирокластовый (рис. 2, б). Для протогранулярного

типа характерны крупные субизометричные зёрна с размерами до 10 мм. Для них устанавливается как однородное, так и волнистое погасание, встречаются полосы сброса [17]. Порфирокластовый тип обусловлен процессами наложенной синектонической рекристаллизации [13], которая проявляется по периферии крупных зерен и сопровождается образованием мелких индивидов зерен оливина с размерами менее 0,5 мм. Зерна хромшпинелидов встречаются редко в виде вкрапленности, их размер менее 0,5 мм. Они имеют субизометричную, реже эвгедральную форму.

Ортопироксениты являются практически мономинеральными породами с крупнозернистой структурой (рис. 2, в). В них в виде редкой вкрапленности встречаются мелкие зерна оливина, клинопироксена и хромшпинелидов. Размер зёрен ортопироксена до 10 мм, иногда более. Форма их субизометричная, реже слабо удлиненная. В них иногда отмечаются признаки пластических деформаций в виде неоднородного погасания и полос сброса, обусловленных высокотемпературным пластическим течением [21]. В деформированных участках проявляется дезинтеграция крупных зерен на мелкие индивиды. Оливин и клинопироксен встречаются в виде мелких неправильных по форме зерен с размерами менее 2 мм. Иногда клинопироксен образует графические пластинчатые индивиды вдоль спайности зерен ортопироксена. Хромшпинелиды образуют неправильные по форме зерна с размерами менее 1 мм.

Верлиты представлены среднезернистыми породами. Они сложены преимущественно оливином, при подчиненной роли клинопироксена со значительной количественной вариацией ~15–40 %. Для зерен оливина характерна субизометричная форма с круглыми границами, их размер составляет 2–5 мм. Они обычно имеют однородное погасание (рис. 2, в, г), реже обнаруживают слабоволнистое, иногда в них отмечаются единичные полосы пластического излома. Клинопироксен образует неправильные и субизометричные зерна, ксеноморфные по отношению к индивидам оливина. Их размер 2–5 мм, иногда до 8 мм. Зёрна клинопироксена имеют однородное погасание, редко проявляется слабовыраженное неоднородное. Хромшпинелиды отмечаются в виде акцессорной примеси (менее 1 %) мелких черных зерен с размерами менее 0,5 мм.

Метагаббро, в отличие от дунитов, представляют собой тонкозернистые породы. Для них характерна габбро-офитовая структура, иногда проявляется пойкилоофитовая. Они сложены преимущественно плагиоклазом, при подчиненной роли клинопироксена. В них в небольшом количестве присутствуют лейкоксен и магнетит. Зерна плагиоклаза имеют призматическую и таблитчатую форму, их размер 1–2 мм. Они выделяются по наличию полисинтетических двойников и серых цветов интерференции (рис. 2, е). Плагиоклаз соответствует андезин-лабрадору № 50, состав которого определен по углу симметричного погасания (27°). Клинопироксен в породе наблюдается в виде субизометричных и неправильных по форме зёрен с размерами

0,5–1 мм. Наиболее крупные индивиды наблюдаются в виде порфировидных вкрапленников, в них от-

мечаются призматические зерна плагиоклаза с образованием пойкилоофитовой структуры.

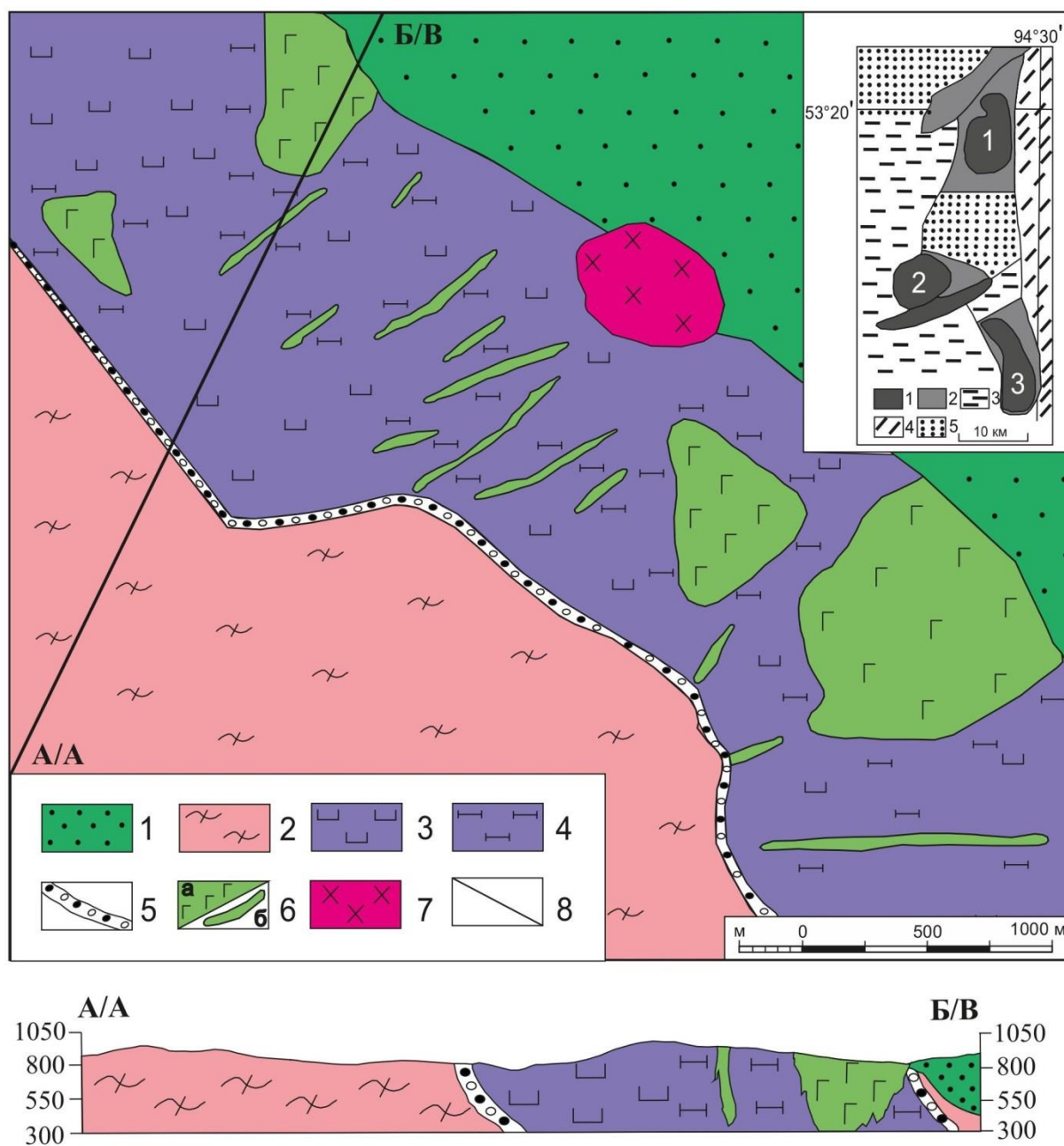


Рис. 1. Геологическая карта Кызыр-Бурлюкского массива (составлена С.В. Лодыгиным при проведении ревизионно-поисковых работ на хромиты в 2008–2011 гг.): 1 – осадочные отложения федоровской свиты (S_{fd}), 2 – сланцы по основным вулканитам амьельской свиты ($V-C_{jam}$), 3–6 – иджимский габбро-ультрамафитовый комплекс ($R_3?id$): 3 – дуниты, 4 – верлиты, 5 – меланж, 6 – габбро: а) штоки, б) дайки, 7 – диориты кызыкчадрского комплекса (D_{kzk}); 8 – достоверные геологические границы. На врезке схема строения Куртушибинского офиолитового пояса в северо-восточной части Западного Саяна [9]: 1 – ультрамафиты (массивы: 1 – Эргакский, 2 – Калнинский, 3 – Кызыр-Бурлюкский); 2 – вулканогенно-осадочные толщи: metabasalts, plagiogriolites, siliceous, carbonaceous, glaucophane schists; 3, 4 – каледонские складчатые системы: 3 – Западно-Саянская, 4 – Хемчикско-Систигхемская; 5 – среднепалеозойские впадины

Fig. 1. Geological map of Kizir-Burluisky massif (compiled by S.V. Lodygin when carrying out revision and prospecting works for chromites in period of 2008–2011): 1 – sedimentary rock of Fedorovskaya Formation (S_{fd}), 2 – shales by basic volcanics of Amylskaya Subformation ($V-C_{jam}$), 3–6 – idzhimsky gabbro-ultrabasite complex ($R_3?id$): 3 – dunites, 4 – wehrlites, 5 – melange, 6 – gabbro: a) stocks, b) dikes, 7 – diorite kizikchadsky intrusive complex (D_{kzk}); 8 – reliable contact line. On sidebar [9]: scheme of structure of Kurtushibinsky ophiolite belt in north-eastern part of Western Sayan: 1 – ultramafites (massifs: 1 – Ergaksky, 2 – Kalninsky, 3 – Kizir-Burluisky); 2 – volcanogenic-sedimentary layers: metabasalts, plagiogriolites, siliceous, carbonaceous, glaucophane schists; 3, 4 – Caledonian fold systems: 3 – West-Sayanskaya, 4 – Khemchik-Systighemskaya; 5 – Middle Paleozoic depressions

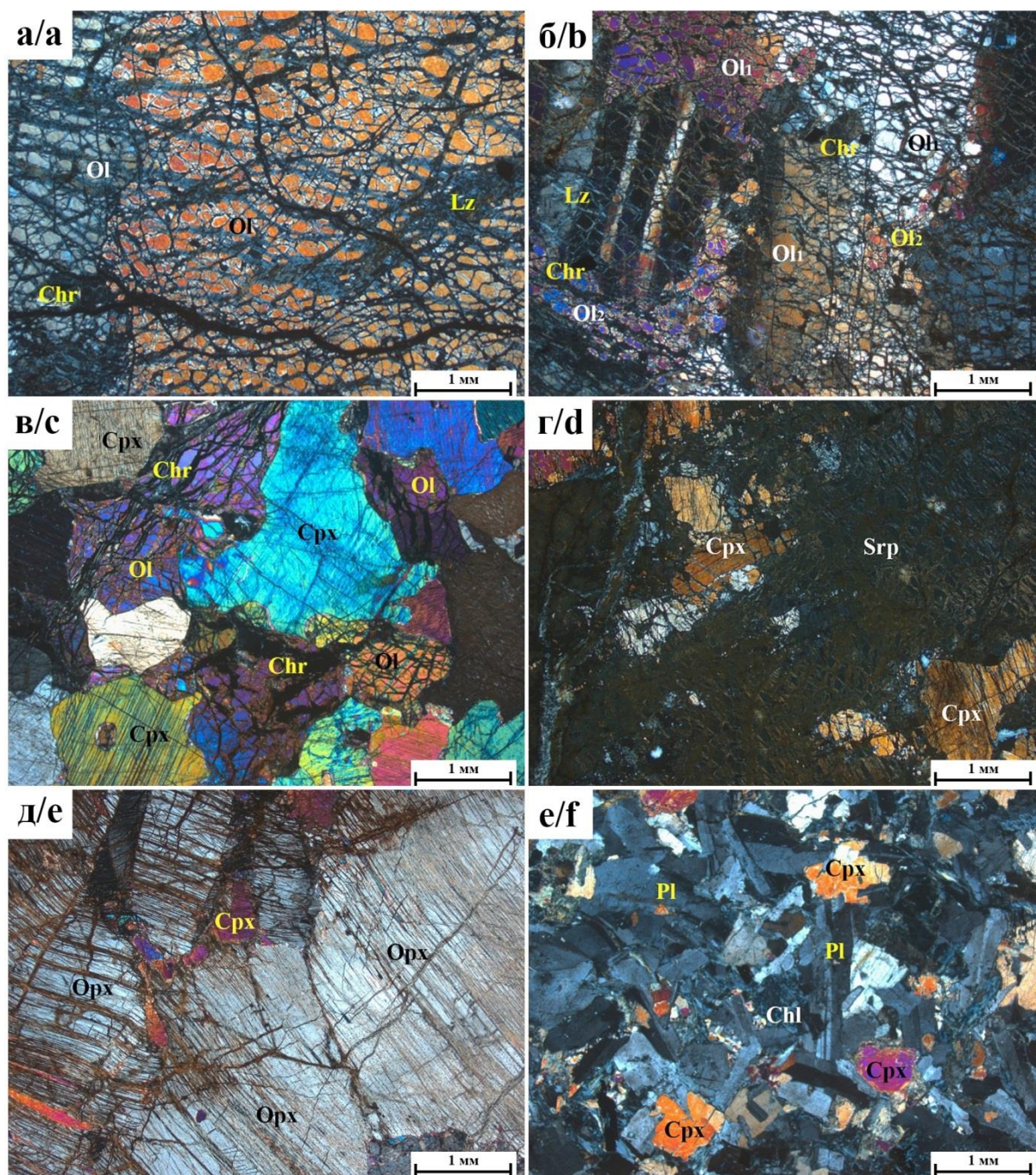


Рис. 2. Микроструктуры ультрамафитов и габбро: а, б) дуниты: а) протогранулярный тип (обр. 7012); б) порфирокластовый тип (обр. 7013); в) верлит (обр. 7028); г) серпентинизированный верлит (обр. 7029); д) ортопироксенит (обр. 7021); е) габбро (обр. 7009). Ol – оливин, Ol₁ – крупные индивиды оливина, Ol₂ – мелкие рекристаллизованные зерна оливина, Srp – серпентин, Lz – лизардит, Cpx – клинопироксен, Opx – ортопироксен, Pl – плагиоклаз, Chl – хлорит, Chr – хромшпинелид. Фото с анализатором

Fig. 2. Microstructures of ultramafic and gabbro: a, b) dunites: a) protogranular (smp. 7012); b) porphyroclastic (smp. 7013); c) wehrlite (smp. 7028); d) serpentinized wehrlite (smp. 7029); e) orthopyroxenite (smp. 7021); f) gabbro (smp. 7009). Ol – olivine, Ol₁ – large grains of olivine, Ol₂ – fine recrystallized grains of olivine, Srp – serpentine, Lz – lizardite, Cpx – clinopyroxene, Opx – orthopyroxene, Pl – plagioclase, Chl – chlorite, Chr – chromspinelide. Photo with analyzer

Особенности минералогического состава ультрамафитов

Оливин в дунитах Кызыр-Бурлюкского массива по содержанию фаялитовой составляющей (Fa) соответствует пограничному составу форстерит-хризолит и отличается от оливина из дунитов и гарцбургитов

Калнинского и Эргакского массивов большей железистостью, в последних он соответствует форстериту (таблица). Оливины из дунитов Кызыр-Бурлюкского массива отличаются от оливинов из Калнинского и Эргакского массивов уменьшением содержаний NiO и увеличением CaO. В ряду от дунитов к верлитам в

Кызыр-Бурлюкском массиве намечается увеличение Fa оливина до 13,41 % (магнезиального хризолита).

При этом CaO в оливине из верлитов полностью исчезает, а содержание NiO остается неизменным.

Таблица. Химический состав оливинов в ультрамафитах (в мас. %)

Table. Chemical composition of olivines of ultramafic rocks (wt. %)

Массивы Massifs	Кызыр-Бурлюкский Kizir-Burluksky				Калнинский Kalninsky			Эргакский Ergaksky		
Образцы Samples	7003 Д/Д	7006 Д/Д	7025 В/В	7028 В/В	7081 Д/Д	7045 Д/Д	7073 Г/Н	204 Д/Д	220/1 Д/Д	4076/1 Г/Н
SiO ₂	40,8	40,60	40,61	40,40	41,04	41,11	40,55	41,62	42,37	40,01
FeO	10,2	10,55	11,00	12,88	7,51	7,34	8,6	6,24	6,94	7,55
MgO	48,7	48,46	48,03	46,66	50,79	50,97	49,86	51,8	49,93	48,96
CaO	0,19	0,18	0,00	0,00	0,10	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00
NiO	0,25	0,28	0,28	0,27	0,44	0,35	0,41	0,33	0,3	0,3
Total	100,2	100,1	100,4	100,2	100,0	100,0	99,6	99,99	99,24	96,82
Fa	10,48	10,88	11,38	13,41	7,66	7,47	8,82	6,33	7,23	7,96

Примечание. Д – дуниты; В – верлиты; Г – гарцбургиты. Fa (%) = $Fe/(Fe+Mg) \times 100$.

Note. D – dunites; V – wehrlites; H – harzburgites. Fa (%) = $Fe/(Fe+Mg) \times 100$.

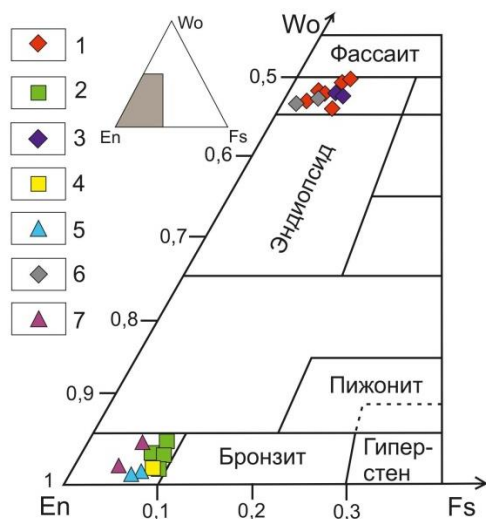


Рис 3. Составы орто- и клинопироксенов из верлитов, гарцбургитов и ортопироксенитов Кызыр-Бурлюкского, Калнинского и Эргакского массивов: 1–2 – Кызыр-Бурлюкский массив: 1 – верлиты, 2 – ортопироксениты; 3–5 – Калнинский массив: 3 – диопсидиты, 4 – ортопироксениты, 5 – гарцбургиты; 6–7 – Эргакский массив: 6 – диопсидиты, 7 – гарцбургиты

Fig. 3. Compositions of ortho- and clinopyroxenes from wehrlites, harzburgites and orthopyroxenites of Kizir-Burluksky, Kalninsky and Ergaksky massifs. Legend: 1–2 – Kizir-Burluksky massif: 1 – wehrlites, 2 – orthopyroxenites; 3–5 – Kalninsky massif: 3 – diopsidites, 4 – orthopyroxenites, 5 – harzburgites; 6–7 – Ergaksky massif: 6 – diopsidites, 7 – harzburgites

Пироксены. Составы ортопироксенов в ортопироксенитах Кызыр-Бурлюкского массива являются практически идентичными составам ортопироксена из ортопироксенитов и гарцбургитов Калнинского и Эргакского массивов и соответствуют энстатиту (рис. 3). Аналогичными оказываются составы клинопироксена из верлитов Кызыр-Бурлюкского массива и из диопсидитов Калнинского и Эргакского массивов, их составы отвечают главным образом диопсиду (рис. 3).

Хромшпинелиды из дунитов Кызыр-Бурлюкского массива заметно отличаются по своему составу от хромшпинелидов Калнинского и Эргакского массивов (рис. 4). В Кызыр-Бурлюкском массиве они более глиноземистые и соответствуют хромпикотитам и субферриаломохромитам. Составы хромшпинелидов из дунитов Калнинского и Эргакского массива являются практически идентичными и представлены преимущественно хромитами и реже алумохромитами. При этом хромшпинелиды из гарцбургитов Эргакского массива относятся к более глиноземистым разновидностям по отношению к гарцбургитам Калнинского массива. Хромшпинелиды в ортопироксенитах соответствуют преимущественно алумохромитам и реже хромитам и являются близкими по составу хромшпинелидам из дунитов и гарцбургитов сравниваемых массивов. Хромшпинелиды из верлитов и дунитов Кызыр-Бурлюкского массива являются близкими по своему составу и представлены преимущественно хромпикотитами и частично субферриаломохромитами. При этом отмечается возрастание глиноземистости хромшпинелидов в верлитах с увеличением количественной роли клинопироксена.

Обсуждение результатов

Проведенные исследования показали, что ультрамафиты Кызыр-Бурлюкского массива являются предельно деплетированными мантийными образованиями и представлены только дунитами, которые характерны для нижних частей офиолитовых комплексов [16]. Тогда как состав ультрамафитов в сравниваемых Эргакском и Калнинском массивах отражает неоднородную степень деплетирования исходного мантийного субстрата. Первый из них является наименее деплетированным и сложен преимущественно гарцбургитами, дунитами при подчиненной роли лерцолитов. Во втором степень деплетирования возрастает, в его строении принимают участие только гарцбургиты и дуниты. Ортопироксениты в массивах являются составной частью дунит-гарцбургитового комплекса.

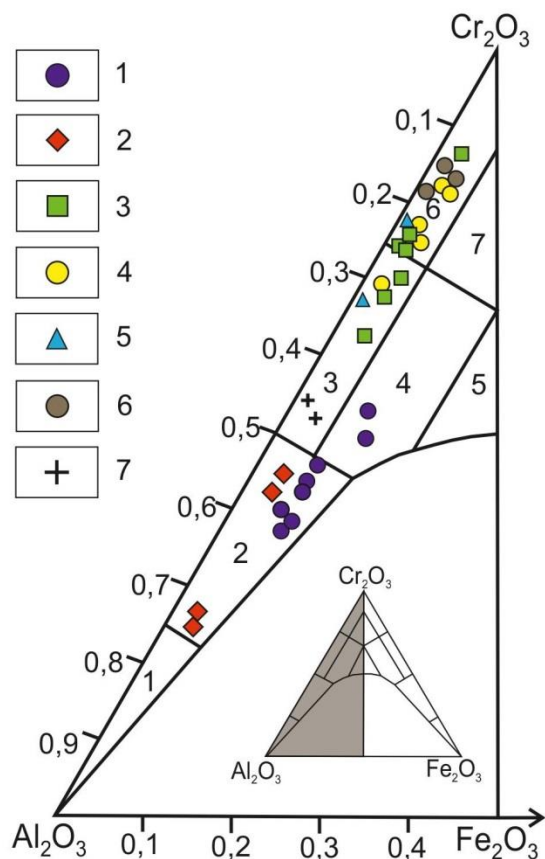


Рис. 4. Диаграмма составов хромшпинелидов из ультрамафитов Кызыр-Бурлюкского и Калнинского массивов. Поля на диаграмме [22]: 1 – пикотит, 2 – хромпикотит, 3 – алюмохромит, 4 – субферриалюмохромит, 5 – ферриалюмохромит, 6 – хромит, 7 – субферрихромит. 1–3 – Кызыр-Бурлюкский массив: 1 – дуниты, 2 – верлиты, 3 – ортопироксениты; 4–5 – Калнинский массив: 4 – дуниты, 5 – гарцбургиты, 6–7 – Эргакский массив: 6 – дуниты, 7 – гарцбургиты

Fig. 4. Chromospinelide composition diagram of ultramafites from Kizir-Burluisky, Kalninsky and Ergaksky massifs. The fields in diagram [22]: 1 – pikotite, 2 – chromopikotite, 3 – alumochromite, 4 – subferriallumochromite, 5 – ferriallumochromite, 6 – chromite, 7 – subferrichromite. 1–3 – Kizir-Burluisky massif: 1 – dunites, 2 – wehrlites, 3 – orthopyroxenites; 4–5 – Kalninsky massif: 4 – dunites, 5 – harzburgites; 6–7 – Ergaksky massif: 6 – dunites, 7 – harzburgites

На этапе консолидации Кызыр-Бурлюкского массива, в результате внедрения более поздних малых интрузивных тел основного состава, дуниты претерпели высокотемпературные реакционно-метасоматические преобразования. Под воздействием метасоматических растворов, генерируемых габброидными интрузивами, дуниты подвергались клинопироксенизации с неравномерным распределением клинопироксена [1, 9]. При этом в экзоконтактных зонах интрузивных тел образовывались верлиты с высоким содержанием клинопироксенов, вплоть до образования клинопироксенитов. С удалением от контакта количество клинопироксена убывает с образованием переходных

разностей в ряду: верлиты – клинопироксенизированные дуниты – дуниты.

Установлено что в процессе клинопироксенизации исходных дунитов главным образом изменялись составы оливина и хромшпинелидов. Происходило возрастание железистости оливина ($Fa=10,48-10,88$) в дунитах Кызыр-Бурлюкского массива по сравнению с оливином ($Fa=7,47-8,52$) из неизмененных дунитов Эргакского и Калнинского массивов. В процессе возрастания степени клинопироксенизации в верлитах происходило дальнейшее увеличение железистости оливина, до магнезиального хризолита ($Fa=11,38-13,41$).

Для CaO в оливине отмечается специфическое поведение в процессе клинопироксенизации. По сравнению с исходными оливинами из неизмененных дунитов Эргакского и Калнинского массивов, содержание CaO увеличивается в оливине из дунитов Кызыр-Бурлюкского массива, подвергшихся высокотемпературному метасоматозу. Однако с увеличением степени метасоматоза в новообразованных верлитах CaO в оливине полностью исчезает. Это, вероятно, связано с тем, что в процессе увеличения интенсивности метасоматоза происходила диффузия (миграция) CaO из оливинов в состав новообразованных клинопироксенов.

Содержания NiO в оливинах как из дунитов, так и из верлитов практически не изменяются, что, очевидно, свидетельствует о его пассивной роли в процессе наложенных метасоматических изменений. В процессе клинопироксенизации в ряду пород: исходные дуниты (Калнинский массив) – дуниты – клинопироксенизированные дуниты – верлиты (Кызыр-Бурлюкский массив), отчетливо проявляется тенденция к возрастанию глиноземистости хромшпинелидов.

Заключение

Таким образом, в Куртушибинском офиолитовом поясе ультрамафиты Кызыр-Бурлюкского массива отличаются от сопряженных Эргакского и Калнинского большей степенью деплетирования исходного мантийного субстрата и представлены только дунитами, при незначительной роли ортопироксенитов. На уровнях верхней мантии они претерпели интенсивные высокотемпературные пластические деформации внутрикристаллическим трансляционным скольжением при подчиненной роли синтетектонической рекристаллизации. На более позднем коровом этапе консолидированные дуниты исследуемого массива под влиянием более поздних габброидных интрузивов подверглись высокотемпературному метасоматозу. В результате дуниты испытали клинопироксенизацию, наиболее интенсивно проявившуюся в экзоконтактных зонах габброидных тел. Это привело к формированию пород верлит-клинопироксенитовой ассоциации. С возрастанием степени клинопироксенизации происходило увеличение железистости оливина и возрастание глиноземистости хромшпинелидов.

Исследование выполнено в рамках гранта по Постановлению Правительства РФ от 09.04.2010 № 220 по договору с Министерством образования и науки РФ от 20.02.2017 № 14.Y26.31.0012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышов А.И., Юричев А.Н. Структурная эволюция дунитов и хромитов Харчерузского массива (Полярный Урал) // Геотектоника. – 2016. – № 2. – С. 62–77.
2. Соболев В.С., Добрецов Н.Л. Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна). – Новосибирск: Наука, 1977. – 222 с.
3. Чернышов А.И., Юричев А.Н., Кичеева А.В. Петрогеохимические особенности хромитовых ультрамафитов Куртушбинского офиолитового пояса (Западный Саян) // Литосфера. – 2019. – Т. 19. – № 5. – С. 687–703.
4. Офиолитовая ассоциация Кузнецкого Алатау (на примере Среднетерсинского массива) / А.И. Гончаренко, П.П. Кузнецов, В.А. Симонов, А.И. Чернышов. – Новосибирск: Наука, 1982. – 105 с.
5. Кужугет К.С., Ойдулуп Ч.К. Некоторые особенности взаимоотношения основных и ультраосновных пород массива Кызыр-Бурлюк (Западный Саян) // Гипербазитовые ассоциации складчатых областей. – Новосибирск: Изд-во ИГиГ СО АН СССР, 1987. – С. 95–104.
6. Геология, петрология и рудоносность мафит-ультрамафитовых массивов Республики Тыва / Ф.П. Леснов, К.С. Кужигет, А.А. Монгуш, Ч.К. Ойдулуп. – Новосибирск: Академ. изд-во «Гео», 2019. – 350 с.
7. Воробьева А.В., Чернышов А.И. Геохимические особенности ультрамафитов и габброидов Кызыр-Бурлюкского массива (северо-восток Западного Саяна) // Металлогения древних и современных океанов–2018. Вулканизм и рудообразование: Материалы Двадцать четвертой научной молодежной школы. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2018. – С. 51–55.
8. Ажигрей Г.Д. Структурная геология. – М.: МГУ, 1956. – 494 с.
9. Кривенко А.П., Подлипский М.Ю., Кубышев А.И. Перспективы хромитовосности и платиноносности гипербазитов Верхне-Амьльского района в Западном Саяне // Минеральные ресурсы Красноярского края. – Красноярск: КНИИГиМС, 2002. – Кн. 1. – С. 314–324.
10. Гончаренко А.И. Петроструктурная эволюция альпинотипных гипербазитов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1989. – 398 с.
11. Савельев Д.Е. Ультрамафитовые массивы Крака (Южный Урал): особенности строения и состава перидотит-дунит-хромитовых ассоциаций. – Уфа: Башк. Энцикл., 2018. – 204 с.
12. Савельева Г.Н., Суслов П.В. Структура и состав мантийных перидотитов на границе с коровыми комплексами офиолитов в массиве Сыумкей, Полярный Урал // Геотектоника. – 2014. – № 5. – С. 3–16.
13. Ave'Lallemant H.G., Carter H.Z. Syntectonik recrystallization of olivine and modes of flow in the upper mantle // Geological Society of America Bulletin. – 1970. – V. 81. – P. 2203–2220.
14. Carter N.L. Steady state flow of rocks // Reviews of Geophysics and Space Physics. – 1976. – V. 14. – № 3. – P. 301–360.
15. Michibayashi K., Suzuki M., Komori N. Progressive deformation partitioning and recrystallization of olivine in the lithospheric mantle // Tectonophysics. – 2013. – V. 587. – P. 79–88.
16. Shmelev V.R., Arai S., Tamura A. Heterogeneity of mantle peridotites from the Polar Urals (Russia): evidence from New LA-ICP-MS Data // Journal of Earth Science. – 2019. – V. 30. – № 3. – P. 431–450.
17. Mercier J. C., Nicolas A. Textures, structures and fabrics of upper mantle peridotites, as illustrated by xenoliths from basalts // Journal of Petrology. – 1975. – V. 16. – P. 454–487.
18. Michibayashi K., Mainprice P., Fujii A. Natural olivine crystal fabrics in the western Pacific convergence region: a new method to identify fabric type // Earth and Planetary Science Letters. – 2016. – V. 443. – P. 70–80.
19. Carter N.L., Ave'Lallemant H.G. High temperature flow of dunite and peridotite // Geological Society of America Bulletin. – 1970. – V. 81. – P. 2181–2202.
20. Wenk H.-R. Preferred orientation in deformed metals and rocks: An introduction to modern texture analysis. – Orlando: Academic Press, 1985. – 610 p.
21. Boullier A.M., Nicolas A. Classification of textures and fabrics of peridotite xenoliths from south African kimberlites // Phys Chem Earth. – 1970. – V. 9. – P. 467–475.
22. Павлов Н.В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов. – М.: Наука, 1949. – 91 с.

Поступила 17.06.2020 г.

Информация об авторах

Чернышов А.И., доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедры петрографии Национального исследовательского Томского государственного университета.

Воробьева А.В., магистр Национального исследовательского Томского государственного университета.

Юричев А.Н., кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры петрографии Национального исследовательского Томского государственного университета.

UCD 552.321.5,6

PETROLOGY OF MAFIC-ULTRAMAFIC KIZIR-BURLUKSKY MASSIF (NORTHEAST OF WESTERN SAYAN)

Aleksey I. Chernyshov¹,
aich@ggf.tsu.ru

Anastasia V. Vorobyeva¹,
vorobyevaananastasia@gmail.com

Alexey N. Yurichev¹,
juratur@sibmail.com

¹ National Research Tomsk State University,
36, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The relevance of the research. Numerous intrusive mafic-ultramafic bodies have been established in the Western Sayan. Their formational affiliation and metallogenic specialization have not yet been fully clarified and constantly attract attention of both industrial and scientific organizations in relation to their metallogenic specialization in chromium, nickel, copper, and precious metals. To clarify their formation affiliation, we obtained the original results of a petrological study of the mafic-ultramafic Kizir-Burluksky massif, which allow us to identify the conditions for its formation, subsequent transformation during long-term evolution at the upper mantle – earth crust levels

Objects: mafic-ultramafic Kizir-Burluksky massif. It is located in the north-eastern part of the Western Sayan and, together with the Kalninsky and Ergaksky massifs, is an integral part of the potentially chromite-bearing massifs of the Amylsky ore region.

Methods. Petrographic studies of ultramafic rocks were carried out with polarizing microscope AxioScope-40 Carl Zeiss. The chemical composition of silicate and ore minerals was determined by the method of X-ray spectrum microanalysis using a scanning electron microscope Tescan Vega II LMU equipped with an energy-dispersive spectrometer Oxford INCA Energy 350 and a wave-dispersive spectrometer Oxford INCA Wave 700.

Results. According to a petrological study, the Kizir-Burluksky massif is represented mainly by extremely depleted dunites, formed in the upper mantle, at the levels of which they underwent intense high-temperature plastic deformations by intracrystalline translational slip with a subordinate role of syntectonic recrystallization. In crustal conditions, under the influence of later of gabbroid intrusives, the dunites underwent a high-temperature metasomatism with the formation of rocks of the verlite-clinopyroxenite association.

Key words:

Western Sayan, ophiolites, ultramafic rocks, dunites, gabbroids, petrography, mineralogy.

The research was carried out within the grant of the decree of the Government of the Russian Federation (09.04.2010 no. 220) by the agreement with the Ministry of Education and Science of the RF, 20.02.2017 no. 14.Y26.31.0012.

REFERENCES

- Chernyshov A.I., Yurichev A.N. Strikturnaya evolutsiya dunitov i khromitov Kharcheruzskogo massiva (Polyarny Ural) [The structural evolution of dunite and chromite ore from the Kharcheruz massif, the Polar Urals]. *Geotectonics*, 2016, vol. 50, no. 2, pp. 196–208.
- Sobolev V.S., Dobretsov N.L. *Petrologia i metamorphism drevnykh ophiolitov (na primere Polyarnogo Urala i Zapadnogo Sayana)* [Petrology and metamorphism of ancient ophiolites (on the example of the Polar Urals and Western Sayan)]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. 222 p.
- Chernyshov A.I., Yurichev A.N., Kicheeva A.V. Petrogeochemical characteristics of chrome-bearing ultramafites in the Kurtushibinsky ophiolite belt (Western Sayan). *Lithosphere*, 2019, vol. 19, no. 5, pp. 687–703. In Rus.
- Goncharenko A.I., Kuznetsov P.P., Simonov V.A., Chernyshov A.I. *Ophiolitovaya assotsiatsiya Kuznetskogo Alatau (na primere Srednetersinskogo massiva)* [The ophiolite association of the Kuznetsk Alatau (on the example of the Srednetersinsky massif)]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1982. 105 p.
- Kusghuet K.S., Oydup C.K. Nekotorye osobennosti vzaimootnosheniya osnovnykh i ultraosnovnykh porod massiva Kizir-Burlyk (Zapadny Sayan) [Some features of the relationship between basic and ultrabasic rocks of the Kizir-Burlyk massif (Western Sayan)]. *Giperbazitovye assotsiatsii skladchatykh oblastey* [Hyperbasitic associations of folded regions]. Novosibirsk, IGIG SO AN SSSR Publ., 1987. pp. 95–104.
- Lesnov F.P., Kusghuet K.S., Mongush A.A., Oydup C.K. *Geologia, petrologia i rudonosnost mafit-ultramafitovykh massivov Respubliki Tyva* [Geology, petrology and ore bearing of mafic-ultramafic massifs Republic of Tuva]. Novosibirsk, Geo Publ., 2019. 350 p.
- Vorobyeva A.V., Chernyshov A.I. Geochemicheskie osobennosti ultramafitov i gabbroidov Kizir-Burluksky massiva (severo-vostok Zapadnogo Sayana) [Geochemical features of ultramafic and gabbroids of the Kizir-Burluksky massif (northeast of the Western Sayan)]. *Materialy Dvadsat chetvertoi nauchnoi molodeshnoi shkoly. Metallogeniya grevnikh i sovremennykh okeanov–2018. Vulkanizm i rudoobrazovanie* [Materials of 24 scientific youth school. Metallogeny of Ancient and Modern Oceans – 2018. Volcanism and ore formation]. Miass, IMin UrO RAN Publ., 2018. pp. 51–55.
- Asghirei G.D. *Strukturnaya geologia* [Structural geology]. Moscow, MGU Publ., 1956. 494 p.
- Krivenko A.P., Podlipskii M.U., Kubyshev A.I. Perspektivy khromitonochnosti i platinonochnosti giperbazitov Verkhne-Amylskogo rayona v Zapadnom Sayane [Prospects for chromite and platinum in the hyperbasites of the Upper Amyl region in the Western Sayan]. *Mineralnye resursy Krasnoyarskogo kraia* [Mineral resources of the Krasnoyarsk region]. Krasnoyarsk, KNIIGiMS Publ., 2002. B. 1, pp. 314–324.
- Goncharenko A.I. *Petrostrukturnaya evolutsiya alpinotipnykh giperbazitov* [Petrostructural evolution of alpinotype hyperbasites]. Tomsk, Tomsk University Publ., 1989. 398 p.
- Savelev D.E. *Ultramafitovye massivy Kraka (Usghnyi Ural): osobennosti stroeniya i sostava peridotit-dunit-chromititovykh assotsiatsii* [Ultramafic massifs of Krak (South Ural): structural and compositional features of peridotite-dunite-chromite associations]. Ufa, Bashk. Entsikl. Publ., 2018. 204 p.

12. Savelyeva G.N., Suslov P.V. Struktura i sostav mantiynykh peridotitov na granitse s korovymiksami ofiolitov v massive Syumkeu, Polymny Ural [Structure and composition of mantle peridotites at the boundary with crustal complexes of ophiolites in the Syumkeu Massif, Polar Urals]. *Geotectonics*, 2014, vol. 48, no. 5, pp. 347–358.
13. Ave'Lallemant H.G., Carter H.Z. Syntectonik recrystallization of olivine and modes of flow in the upper mantle. *Geological Society of America Bulletin*, 1970, vol. 81, pp. 2203–2220.
14. Carter N.L. Steady state flow of rocks. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 1976, vol. 14, no. 3, pp. 301–360.
15. Michibayashi K., Suzuki M., Komori N. Progressive deformation partitioning and recrystallization of olivine in the lithospheric mantle. *Tectonophysics*, 2013, vol. 587, pp. 79–88.
16. Shmelev V.R., Arai S., Tamura A. Heterogeneity of mantle peridotites from the Polar Urals (Russia): evidence from New LA-ICP-MS Data. *Journal of Earth Science*, 2019, vol. 30, no. 3, pp. 431–450.
17. Mercier J.C., Nicolas A. Textures, structures and fabrics of upper mantle peridotites, as illustrated by xenoliths from basalts. *Journal of Petrology*, 1975, vol. 16, pp. 454–487.
18. Michibayashi K., Mainprice P., Fujii A. Natural olivine crystal fabrics in the western Pacific convergent region: a new method to identify fabric type. *Earth and Planetary Science Letters*, 2016, vol. 443, pp. 70–80.
19. Carter N.L., Ave'Lallemant H.G. High temperature flow of dunite and peridotite. *Geological Society of America Bulletin*, 1970, vol. 81, pp. 2181–2202.
20. Wenk H.-R. *Preferred orientation in deformed metals and rocks: an introduction to modern texture analysis*. Orlando, Academic Press, 1985. 610 p.
21. Boullier A.M., Nicolas A. Classification of textures and fabrics of peridotite xenoliths from south African kimberlites. *Phys Chem Earth*, 1970, vol. 9, pp. 467–475.
22. Pavlov N.V. *Khimicheskii sostav chromshpinelidov v svyazi s petrograficheskim sostavom porod ultraosnovnykh intruzivov* [The chemical composition of chromspinelides in connection with petrographic composition of ultrabasic intrusions]. Moscow, Nauka Publ., 1949. 91 p.

Received: 17 June 2020.

Information about the authors

Aleksey I. Chernyshov, Dr. Sc., professor, head of department of petrology.

Anastasia V. Vorobyeva, master of geology.

Alexey N. Yurichev, Cand. Sc., associate professor, department of petrology.